

# AGROFORESTERIE ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN ZONE TROPICALE

Josiane Seghieri et Jean-Michel Harmand, coordinateurs



## Chapitre 7

# Structures spatiales et régulation des bioagresseurs des agroforêts à cacaoyers au Cameroun et au Costa Rica

*NGO BIENG M.A., GIDOIN C. ET TEN HOOPEN G.M.*

**Résumé.** Dans ce travail, nous montrons que la structure spatiale des individus (arbres et cacaoyers) au sein d'agroforêts à cacaoyers influence l'intensité d'attaque de bioagresseurs des cacaoyers. À l'échelle de la parcelle, des organisations spatiales régulières ou aléatoires d'arbres forestiers réduisent les intensités d'attaques de la moniliose au Costa Rica et des mirides au Cameroun. À l'échelle de l'individu, le nombre de voisins cacaoyers (à 3,7 m) et fruitiers (à 4,3 m) influence négativement l'intensité d'attaque de la moniliose au Costa Rica. Nos résultats révèlent l'importance de la structure spatiale dans la description des agroforêts tropicaux et la compréhension des mécanismes influençant la régulation agroécologique des bioagresseurs au sein de ces systèmes complexes. La gestion de la structure spatiale des individus dans les systèmes agroforestiers pourrait ainsi constituer un levier intéressant pour le contrôle agroécologique des bioagresseurs.

**Abstract.** Here we show that spatial tree structure within cacao agroforests influences pest and disease attack intensity of cacao trees. At the plot scale, regular or random spatial organizations of forest trees reduced pest and disease intensity of frosty pod rot in Costa Rica, and mirids in Cameroon. At the individual scale, the number of neighboring cacao trees (at 3.7 m) and neighboring fruit trees (at 4.3 m) negatively influence the individual intensity of frosty pod rot in Costa Rica. Our results reveal the importance of spatial structure in the description of tropical agroforests and in understanding of the mechanisms influencing the agroecological regulation of pest and diseases within these complex systems. Optimization of spatial tree structure when managing tropical agroforests could be an interesting lever for agroecological control of pests and diseases.

## ► Introduction

### Définition du concept de structure spatiale d'une communauté végétale

La structure spatiale représente l'organisation des individus (plantes) dans l'espace et décrit leurs relations de voisinage. Elle prend en compte les relations spatiales entre les individus (structure horizontale), leur diversité spécifique (composition) et leurs dimensions (structure verticale) (Ngo Bieng, 2013). La structure spatiale détermine les conditions de croissance et la dynamique autour de chacun des arbres du peuplement (nombre et caractéristiques des voisins à plusieurs distances). La structure spatiale rend ainsi compte de la diversité des environnements locaux autour de chacun des individus caractérisant les peuplements hétérogènes. Elle influence ainsi les propriétés naturelles et émergentes des individus dans une communauté. Dans l'étude des mécanismes de régulation agroécologique des bioagresseurs, nous avons appliqué des méthodes d'analyse de la structure spatiale aux systèmes agroforestiers tropicaux à base de cacaoyers. Nous nous sommes intéressés à l'interaction entre la structure spatiale d'une communauté végétale et l'intensité d'attaque de ses bioagresseurs.

### Mécanismes d'interaction entre structure spatiale et régulation des bioagresseurs

La structure spatiale du peuplement végétal associé à la culture agit sur le service de régulation des bioagresseurs à travers la modification du microclimat. En effet, la présence d'arbres associés à une culture tamponne la température de l'air et du sol, diminue la vitesse des vents, ainsi que la quantité et la qualité de lumière transmise. Enfin, elle augmente l'humidité relative de l'air et l'humidité des sols sous canopée (Avelino *et al.*, 2011).

La structure spatiale du peuplement végétal influence ce microclimat à travers ses caractéristiques verticales et horizontales :

- la structure verticale des arbres influence à la fois la quantité et la répartition de la ressource lumineuse sous canopée. En particulier, plus la strate est haute, plus la quantité de lumière transmise sous canopée est faible (Martens *et al.*, 2000), plus le pourcentage d'eau interceptée puis restituée au sol est faible et plus la zone à l'abri du vent est grande ;
- la structure horizontale des arbres agit sur la répartition de la ressource lumineuse sous canopée. On observe un ombrage réparti de façon homogène dans les parcelles à structure régulière. Cet ombrage est étalé de façon de plus en plus hétérogène à mesure que la structure des arbres tend vers l'agrégation (Martens *et al.*, 2000).

Les effets directs du microclimat sont nombreux et peuvent se produire à différents moments du cycle de vie des bioagresseurs. Par exemple, la lumière, en particulier les ultraviolets, stimule la sporulation de nombreuses espèces fongiques (Schroth *et al.*, 2000). La réduction du *splashing* des gouttes de pluie peut diminuer la dispersion des spores (Evans, 1998). L'effet indirect du microclimat sur les bioagresseurs intervient principalement par le biais de son impact sur la culture ou sur les auxiliaires des bioagresseurs (Gidoïn *et al.*, 2014b).

## Objectif et cas d'étude

L'objectif de ce travail est de démontrer l'influence de l'organisation spatiale des arbres sur l'intensité d'attaque de deux bioagresseurs du cacaoyer dans des agroforêts tropicales. Le cacaoyer est une importante culture pérenne tropicale installée au sein d'agroforêts par la majorité des producteurs des pays du Sud. Ces agroforêts présentent une diversité de structure et de composition. Les deux bioagresseurs étudiés sont les mirides, *Sahlbergella singularis*, au Cameroun et la moniliose, *Moniliophthora roreri*, au Costa Rica. Les mirides sont des insectes ailés dont la dissémination est active et peut se faire sur plusieurs kilomètres (Babin *et al.*, 2010). Ils constituent l'une des principales menaces pour la production de cacao en Afrique. La moniliose est un champignon disséminé par le vent sur de grandes distances. Cette maladie fongique est potentiellement la plus dangereuse du cacaoyer. Elle est à l'origine d'importantes pertes pouvant aller jusqu'à 100 % de la production en Amérique tropicale (Gidoin *et al.*, 2014a).

## ► Matériel et méthodes

### Analyse de la structure spatiale des peuplements et des attaques de bioagresseurs

Nous présentons l'interaction entre l'organisation spatiale des individus (arbres et cacaoyers) et l'intensité d'attaque des deux bioagresseurs à deux échelles : la parcelle et l'individu (arbres et cacaoyers).

#### À l'échelle de la parcelle

Nous avons analysé la structure spatiale des individus (arbres et cacaoyers) dans 36 parcelles de 2000 m<sup>2</sup> dans la zone de Talamanca au Costa Rica et dans 20 parcelles de 2500 m<sup>2</sup> dans la zone d'Obala au Cameroun. La région de Talamanca est la première zone de production de cacao au Costa Rica. Cette production est assez faible du fait des dommages causés par la moniliose, de l'ancienneté et de la gestion extensive des systèmes, ainsi que de l'éloignement des zones de commercialisation. Les systèmes de culture de la région d'Obala au Cameroun sont plus productifs et gérés plus intensivement. Ils sont situés près de Yaoundé, capitale du pays.

L'analyse des structures spatiales a été réalisée à partir de la position des individus dans les parcelles. Pour ces analyses, nous avons utilisé la fonction de Ripley, un outil d'analyse de distribution spatiale (Ngo Bieng *et al.*, 2013). Les positions des individus — de hauteur supérieure à 2 m — dans les parcelles (coordonnées cartésiennes x et y) ont été obtenues à l'aide d'un théodolite (Leica Builder 409, Leica Geosystems, Heerbrugg et Switzerland). Pour chacun des individus positionnés, nous avons noté son espèce et la catégorie à laquelle il appartient : cacaoyer, arbre forestier, fruitier ou bananier. Pour les analyses de la structure spatiale, chaque catégorie a été prise en compte quand elle était représentée par au moins 10 individus dans chaque parcelle étudiée (Ngo Bieng *et al.*, 2013).

Pour la moniliose, l'intensité d'attaque a été évaluée par le rapport du nombre de cabosses endommagées sur le nombre total de cabosses par parcelle. Quatre relevés par an ont été réalisés en 2008 et 2009 (Gidoïn *et al.*, 2014a). Pour les mirides, l'intensité d'attaque a été évaluée par la densité du ravageur par parcelle ; un relevé au mois d'août a été réalisé en 2011 et 2012 sur 1 600 cacaoyers (Gidoïn *et al.*, 2014b).

Nous avons utilisé l'analyse de variance (Anova) pour étudier l'effet de la structure horizontale des arbres forestiers sur la variabilité interparcelle de l'intensité de la moniliose, d'une part, et de la densité en mirides, d'autre part. L'effet présenté ici n'est pas un artefact du fait de la corrélation de la variable de structure horizontale des arbres forestiers avec une autre variable de structure ou de composition de l'agroforêt, comme le montre l'ensemble des analyses statistiques réalisées sur le même jeu de données. Ces analyses sont présentées en détail par Gidoïn et ses coauteurs (Gidoïn *et al.*, 2014a; Gidoïn *et al.*, 2014b).

## À l'échelle de chaque cacaoyer

Nous avons caractérisé l'environnement local, comme le nombre d'individus voisins sur une distance de 0 à 10 m, et l'effet de ce voisinage sur l'intensité individuelle d'attaque, c'est-à-dire l'intensité d'attaque de chacun des cacaoyers. Cette analyse a été conduite dans 20 parcelles de 1 600 m<sup>2</sup> dans la zone d'Upala au Costa Rica. Upala est la deuxième zone de production de cacao après Talamanca. On constate une relance de l'activité cacaoyère avec un ombrage moins dense et moins divers qu'à Talamanca. Elle s'accompagne de la pratique de la récolte sanitaire consistant à retirer des arbres les cabosses endommagées pour évacuer une partie de l'inoculum) et l'utilisation, dans les jeunes plantations, de variétés améliorées partiellement résistantes à la moniliose. Dans les parcelles étudiées, l'intensité individuelle d'attaque par la moniliose a été caractérisée, pour chaque cacaoyer évalué, par le pourcentage de cabosses malades sur le nombre total de cabosses. L'intensité d'attaque individuelle d'un cacaoyer a été expliquée par son nombre de voisins en utilisant un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM). En effet, nous cherchons à identifier la catégorie de voisins (cacaoyer, forestier, fruitier et bananier) et la distance de voisinage (0 à 10 m) qui sont corrélées aux plus importants indices d'attaque (Ngo Bieng *et al.*, 2017).

## Structure spatiale et distribution de l'ombrage

Dans cette section, nous nous intéressons à l'étude de l'impact de la structure horizontale et verticale sur la distribution de la ressource lumineuse, via des mesures d'ombrage dans la parcelle. La distribution de la ressource lumineuse est un important élément du microclimat pouvant influencer la dynamique de bioagresseurs. Ici, notre objectif est d'étudier l'effet de la variabilité spatiale de l'ombrage, et donc de la distribution de la ressource lumineuse, sur la distribution spatiale d'un bioagresseur. Cette étude a été réalisée uniquement au Cameroun sur les mirides (insectes photophobiques), dans les 20 parcelles de 2 500 m<sup>2</sup> installées dans la zone d'Obala et décrites par Gidoïn *et al.* (2014b).

Pour caractériser l'ombrage nous avons utilisé deux méthodes différentes, complémentaires et simples d'utilisation :

– le logiciel shademotion (version 3, <http://shademotion.net>) est utilisé pour modéliser l'ombrage. Il permet de calculer ( $h/j/m^2$ ) l'ombre des arbres associées projetée sur la canopée des cacaoyers. Il calcule la position, la forme de l'ombre projetée par des arbres dans le temps et l'espace en fonction de leurs caractéristiques (hauteur, largeur et densité du houppier, hauteur du tronc et hauteur totale);

– un densiomètre est utilisé pour estimer le taux de couverture totale de la canopée mesurée sous les houppiers des cacaoyers. Les mesures de densiomètre ont été prises dans les parcelles dans un format de  $5 \times 10$  m, ce qui donne 66 mesures par parcelle. L'interpolation pour arriver à une valeur par  $m^2$  a été effectuée par krigeage en utilisant le logiciel GS+ (<http://www.gammadesign.com/>).

## » Résultats

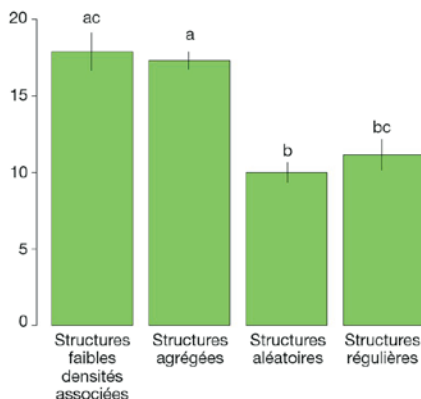
### Relation entre structure spatiale et régulation des bioagresseurs

#### À l'échelle de la parcelle

Nos résultats montrent que la structure spatiale horizontale des arbres forestiers a un effet significatif sur la moniliose au Costa Rica (fig. 7.1a) et sur les mirides au Cameroun (fig. 7.1b).

Au Costa Rica, l'intensité d'attaque de la moniliose est plus élevée dans les parcelles caractérisées par une faible densité en arbres forestiers et une structure agrégée de ces arbres (i.e. des arbres répartis en agrégats dans les parcelles). Elle est plus basse dans les parcelles à structure aléatoire et les parcelles à structure régulière des arbres forestiers (Gidoïn *et al.*, 2014a).

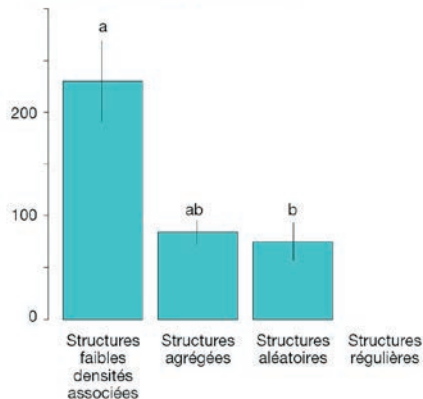
Intensité d'attaque des cabosses par la moniliose (%)



**Figure 7.1a.** Intensité d'attaque des cabosses de cacaoyer par la moniliose.

Anova :  $F = 5,26$   $pvalue < 0,01$

Densités en mirides (nb individus/ha)



**Figure 7.1b.** Densité de mirides en fonction des types de structures des arbres associés.

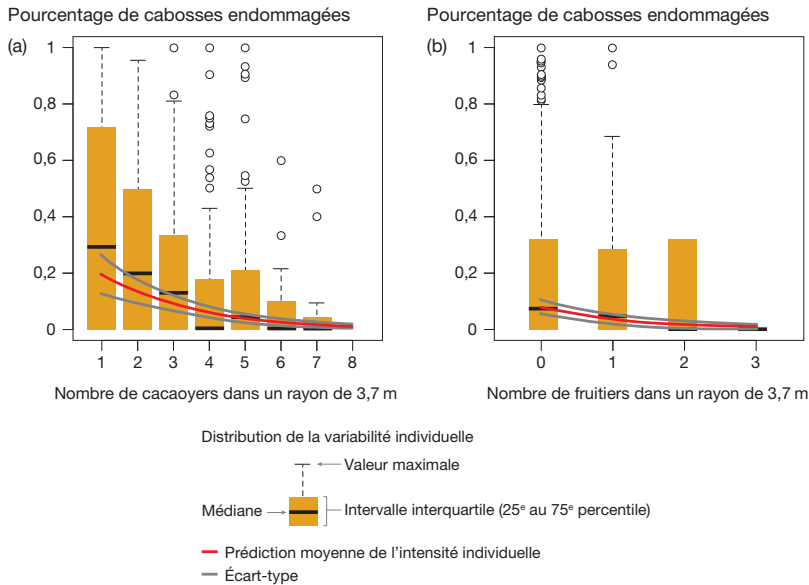
Anova :  $F = 3,88$   $pvalue < 0,05$ . Les moyennes présentées avec des lettres différentes sont significativement différentes (test de Tukey HSD), les barres d'erreurs représentent l'erreur standard.



Au Cameroun, la densité de mirides décroît lorsqu'un nombre minimal d'arbres forestiers est aléatoirement réparti (i.e distribué au hasard) dans la parcelle (75 insectes/ha en moyenne en 2011 et 2012) en comparaison à des parcelles ayant une structure agrégée d'arbres forestiers (84 insectes/ha) ou à faible densité en arbres forestiers (230 insectes/ha) (Gidoïn *et al.*, 2014b).

### À l'échelle du cacaoyer, au Costa Rica

Dans notre jeu de données, nous avons rencontré une variabilité individuelle de l'intensité d'attaque de la moniliose, entre 0 et 100 % de cabosses malades par cacaoyer. À la suite de l'exploration des variables, il ressort que le nombre des cacaoyers (nca) dans un rayon de 3,7 m (nca3.7) et le nombre de fruitiers (nfu) dans un rayon de 4,3 m (nfu4.3) sont les variables de l'environnement local expliquant le mieux la variabilité individuelle de l'intensité d'attaque. Dans les deux cas, l'interaction est négative : plus il y a de voisins cacaoyers à 3,7 m ou de fruitiers à 4,3 m, moins l'intensité d'attaque individuelle est importante (fig. 7.2). Le nombre de voisins cacaoyers et le nombre de fruitiers à 4,3 m expliquent respectivement environ 15 % et 7 % de la variabilité de l'intensité individuelle de la moniliose (fig. 7.2). La prédiction de l'intensité d'attaque est aux alentours de 20 % pour un cacaoyer avec un nca3.7 = 1 et de 2,5 % pour un cacaoyer avec un nca3.7 = 8 (fig. 7.2a). Elle est aux alentours de 10 % pour un cacaoyer ayant un nfu4.3 = 0 et de 1 % pour un cacaoyer ayant un nfu4.3 = 3 (fig. 7.2b). Les nombres d'arbres forestiers et de bananiers dans l'environnement local n'ont pas d'influence sur l'intensité d'attaque des individus.



**Figure 7.2a.** Mesures (boîtes à moustaches) et prédictions par le GLMM (courbes) de l'intensité d'attaque individuelle des cacaoyers par la moniliose en fonction du nombre de cacaoyers situés à 3,7 m (nca3.7) (a) ou du nombre de fruitiers situés à 4,3 m (nfu4.3) (b). nca3.7 explique environ 15 % de la variabilité de l'intensité d'attaque individuelle. nfu4.3 explique environ 7 % de la variabilité de l'intensité d'attaque individuelle.

## Structure spatiale, distribution de l'ombrage et impact sur les mirides au du Cameroun

En utilisant le logiciel Shademotion et en comparant les parcelles de même composition et densité d'arbres d'ombrage, nous observons qu'une structure agrégée entraîne une hétérogénéité et une variance plus importante du taux d'ombrage qu'une structure aléatoire. À structure spatiale et à densité fixes, la composition a un impact sur la distribution de l'ombrage à travers l'architecture des peuplements étudiés. Des analyses de semi-variance montrent la dépendance spatiale de la distribution des mirides au sein des parcelles avec une structure agrégée des arbres d'ombrage. Les mirides ont tendance à se localiser dans les zones moins ombragées au sein des parcelles à structure agrégée (fig. 7.3a et fig. 7.3b). Cette dépendance spatiale n'est pas observée dans les parcelles à structure aléatoire. En utilisant les données du densiomètre, nous observons que ces zones moins ombragées par les arbres associés ont des valeurs élevées de couverture totale de la canopée (arbres associés + cacaoyers) (fig. 7.3c). Ceci pourrait être lié aux observations qui montrent que la densité de mirides est liée à la quantité de tissus sensibles (Gidoin *et al.*, 2014b). Des cacaoyers situés dans des zones moins ombragées reçoivent plus de ressource lumineuse. L'intensité lumineuse plus élevée permet une croissance plus vigoureuse des cacaoyers, ce qui peut se traduire par :

- plus de ressources alimentaires (cabosses et jeunes pousses) pour les mirides ;
- un taux de couverture totale arborée plus élevé expliqué en partie par un niveau d'auto-ombrage des cacaoyers plus élevé (fig. 7.3c).

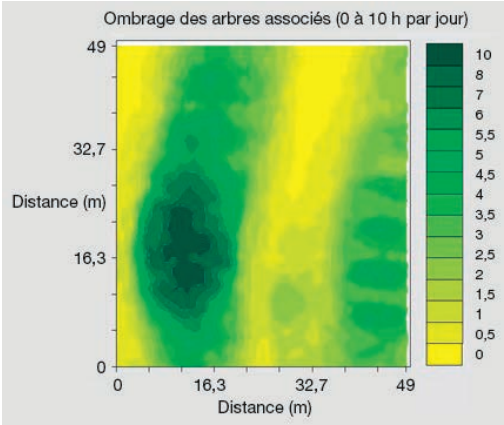
## ► Discussion

Nos résultats mettent en évidence une diversité d'organisations spatiales des individus dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers étudiés au Costa Rica et au Cameroun. De plus, ils montrent une influence significative de l'organisation spatiale des individus sur les intensités d'attaque de deux bioagresseurs du cacaoyer dans des agroforêts au Costa Rica et au Cameroun. Cette influence significative se fait par le biais d'une modification de l'environnement local autour de chacun des individus hôtes, les cacaoyers. Cette modification de l'environnement local implique un changement des conditions microclimatiques autour des cacaoyers. Et ce sont principalement des effets microclimatiques en relation avec les conditions de développement épidémiologiques des bioagresseurs étudiés que nous discutons ici.

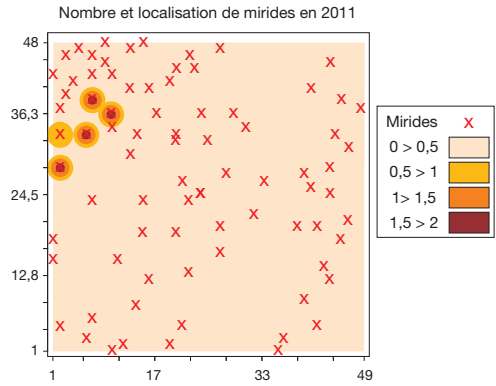
À l'échelle de la parcelle, nous montrons que des organisations spatiales régulières sont corrélées à de plus faibles intensités d'attaques de la moniliose au Costa Rica (Talamanca) et des mirides au Cameroun (Obala). On observe la même tendance pour des organisations spatiales aléatoires d'arbres forestiers.

**Cas de la moniliose.** La moniliose est une maladie fongique dont les conditions microclimatiques de plein soleil facilitent la dispersion (faible humidité relative de l'air et vitesse des vents importante), tandis que les conditions sous ombrage (forte humidité relative de l'air) facilitent le développement des spores. Ces deux condi-

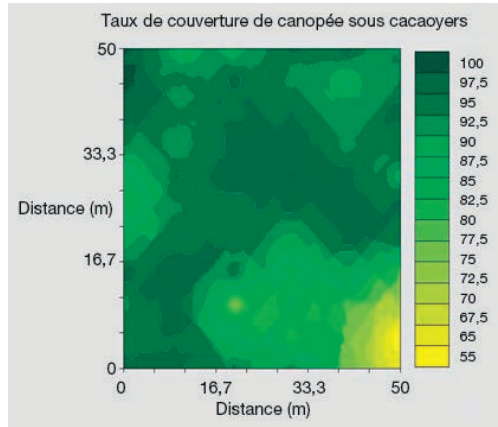




**Figure 7.3a.** Distribution de l'ombrage journalier (en heures par jour) dans une parcelle avec une structure agrégée des arbres associés.



**Figure 7.3b.** Distribution et nombre de mirides et positions des cacaoyers échantillonnés dans une parcelle avec une structure agrégée des arbres associés.



**Figure 7.3c.** Taux de fermeture de canopée en pourcentage dans une parcelle avec une structure agrégée des arbres associés.

tions sont rencontrées dans les parcelles à faible densité en arbres forestiers et à structure agrégée des arbres forestiers, respectivement entre les agrégats et sous les agrégats d'arbre forestiers; ce qui pourrait expliquer les forts taux d'attaque de moniliose observés dans ces parcelles (Gidoïn *et al.*, 2014a).

**Cas des mirides.** Dans les parcelles à structure agrégée des arbres forestiers, la densité plus élevée de mirides pourrait être expliquée par leur présence dans des zones éclairées (entre les agrégats d'arbres forestiers). En effet ces zones pourraient fournir plus de ressources (cabosses et jeunes pousses de cacaoyers) à ces insectes piqueurs suceurs. Dans ces zones moins ombragées, les conditions de développement des mirides sont cependant considérées comme sous-optimales, les mirides étant des insectes photophobiques (Babin *et al.*, 2010). L'augmentation de l'auto-ombrage (ombrage donné par le cacaoyer lui-même) pourrait alors compenser les effets négatifs du manque d'ombrage entre les agrégats sur le développement des mirides. En effet, ces zones moins ombragées correspondent à des houppiers de cacaoyer plus grands et plus denses, comme en témoignent les mesures de fermeture plus élevées dans ces zones (fig. 7.3c, valeurs de densiomètre prise en dessous du canopée des cacaoyers).

Dans des systèmes plein soleil caractérisés par une abondance de ressources, l'agrégation spatiale des mirides semble moins stable dans le temps, et leurs dégâts distribués plus uniformément (Mahob *et al.*, 2015). Néanmoins, les travaux portant sur l'interaction entre organisation spatiale des arbres, distribution de l'ombrage et les mirides ont, pour l'instant, été menés sur un nombre limité de parcelles. Il serait intéressant de les réaliser sur un plus grand nombre de dispositifs.

**Les variables de structure spatiale.** Il est intéressant de noter que les variables de structure spatiale ayant des effets significatifs dans notre étude sont rarement prises en compte à l'échelle de la parcelle dans la littérature. En effet, dans la majorité des études s'intéressant à la formation d'un microclimat au sein des systèmes agroforestiers, le microclimat est décrit à l'aide de mesures directes (mesures photo-hémisphériques par exemple) ou à partir des variables de structure des arbres d'ombrage, généralement la densité en arbres d'ombrage. Nos résultats révèlent l'importance de variables de structure spatiale. Ils donnent des pistes nouvelles pour la description des systèmes complexes et l'étude des mécanismes influençant leur fonctionnement.

**Variabilité individuelle de l'intensité d'attaque de la moniliose.** À l'échelle des cacaoyers, nous avons mis en évidence une variabilité individuelle de l'intensité d'attaque de la moniliose. Le nombre d'individus autour des cacaoyers étudiés explique une partie de cette variabilité. En effet, le nombre de cacaoyers dans un rayon de 3,7 m a une influence négative sur l'intensité d'attaque de moniliose. Nous faisons l'hypothèse que cette influence est due à un effet barrière dans la dispersion des pathogènes lié à l'architecture du cacaoyer (Ngo Bieng *et al.*, 2017). Des traits architecturaux comme le LAI, la hauteur du houppier, la rugosité du houppier, la longueur des branches, la position des branches et des feuilles réduisent la porosité du houppier des cacaoyers (i.e. pourcentage de vides présents dans le houppier), conduisant à des distances de dispersion réduites. De plus, les branches de cacaoyers peuvent s'étaler du sommet jusqu'au sol, ce qui contribue à renforcer la porosité du houppier. Ces traits architecturaux sont pertinents en

cas de dispersion passive de spores : c'est le cas des maladies fongiques telles que la moniliose. Les organes des cacaoyers non hôtes de la maladie constituent une barrière efficace à la dispersion des spores de la moniliose jusqu'aux organes hôtes, les cabosses. Une distribution spatiale optimale des organes non hôtes aux alentours de chacun des cacaoyers infectés participe ainsi à une réduction de la dispersion de la maladie.

Concernant les arbres forestiers et fruitiers des strates supérieures, en plus de leur faible densité, leur architecture contribue peu à leur porosité, car seuls leurs troncs agissent comme barrières à la distribution des spores. En plus de cet effet barrière limité, les fruitiers ont aussi un impact sur la disponibilité de la lumière autour du cacaoyer considéré. En taille, les fruitiers sont plus petits que les arbres forestiers et fournissent un ombrage plus dense et plus localisé. Cet ombrage localisé réduit ainsi la production des cacaoyers ayant des fruitiers dans leur voisinage. D'ailleurs, nous avons observé que plus un cacaoyer a de voisins fruitiers dans un rayon de 4,3 m, moins il est infecté par la moniliose.

**Importance du choix des arbres d'ombrage et de leur organisation spatiale.** Nos résultats permettent de souligner l'importance du choix des arbres d'ombrage et de leur organisation spatiale dans les systèmes agroforestiers. Au Cameroun par exemple, l'intensification des systèmes agroforestiers se traduit par une augmentation de la densité en fruitiers et en arbres à produits forestiers non ligneux. Cependant, les arbres forestiers constituant la canopée de ces systèmes présentent des houppiers plus larges et moins denses que les fruitiers (Gidoïn *et al.*, 2014a). Les arbres forestiers fournissent en plus un grand nombre de services écosystémiques dans les parcelles agroforestières. De par leur architecture, ils fournissent un ombrage homogène quand ils sont régulièrement ou aléatoirement répartis, ombrage nécessaire à la durabilité de la production du cacaoyer.

## ► Conclusion

Dans ce travail, nous montrons que l'organisation spatiale des individus, rarement décrite dans la littérature, influence l'intensité d'attaque de bioagresseurs. Nos analyses indiquent que des organisations spatiales régulières d'arbres forestiers sont corrélées à de plus faibles intensités d'attaques de la moniliose et des mirides du cacaoyer. Il en est de même pour des organisations spatiales aléatoires, elles aussi corrélées à de plus faibles intensités d'attaques des deux bioagresseurs étudiés. Plus spécifiquement dans le cas de la moniliose et dans des parcelles présentant de telles organisations spatiales n'exacerbant pas le développement de la moniliose, nous mettons en évidence un effet barrière des cacaoyers sur la dispersion des spores.

Nos résultats participent à la mise en place de régulation agroécologique des bioagresseurs dans les systèmes agroforestiers, par le biais de l'optimisation de l'organisation spatiale des individus cultivés, dans l'objectif de limiter la réceptivité des parcelles agroforestières aux insectes ravageurs et agents pathogènes. La gestion de la structure spatiale (horizontale) des arbres d'ombrage pourrait ainsi constituer un levier intéressant pour la gestion agroécologique des bioagresseurs.

## ► Bibliographie

- Avelino J., Ten Hoopen G.M., Declerck F., 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. *In*: Rapidel B., DeClerck F., Le Coq J.-F., Beer J., (eds). *Ecosystems services from agriculture and agroforestry*. Londres, Royaume-Uni: Earthscan, p. 320.
- Babin R., Hoopen G.M.T., Cilas C., Enjalric F., Yede G.P., Lumaret J.P., 2010. Impact of shade on the spatial distribution of *Sahlbergella singularis* in traditional cocoa agroforests. *Agricultural and forest entomology*, 12: 69-79.
- Gidoïn C., Avelino J., Deheuvels O., Cilas C., Ngo Bieng M.N., 2014a. Shade tree spatial structure and pod production explain frosty pod rot intensity in cacao agroforests, Costa Rica. *Phytopathology*, 104(3): 275-281.
- Gidoïn C., Babin R., Beilhe L.B., Cilas C., Hoopen G.M.T., Ngo Bieng M.N., 2014b. Tree spatial structure, host composition and resource availability influence mirid density or black pod prevalence in cacao agroforests in cameroon. *PLoS one*, 9 (10).
- Mahob R., Baleba L., Yédé, Dibog L., Cilas C., Bilong Bilong C.F., Babin R., 2015. Spatial distribution of *Sahlbergella singularis* Hagl. (Hemiptera: Miridae) populations and their damage in unshaded young cacao-based agroforestry systems. *International Journal of Plant, Animal and environmental sciences*, 5(2): 121-131.
- Martens S.N., Breshears D.D., Meyer C.W., 2000. Spatial distributions of understory light along the grassland/forest continuum: effects of cover, height, and spatial pattern of tree canopies. *Ecological modelling*, 126(1): 79-93.
- Ngo Bieng M.A., Alem L., Curtet C., Tixier P., 2017. Tree spacing impacts the individual incidence of *Moniliophthora roreri* disease in cacao agroforests. *Pest management science*, 10.1002/ps.4635, n/a-n/a.
- Ngo Bieng M.A., Gidoïn C., Avelino J., Cilas C., Deheuvels O., Wery J., 2013. Diversity and spatial clustering of shade trees affect cacao yield and pathogen pressure in Costa Rican agroforests. *Basic and applied ecology*, 14(4): 329-336.
- Schroth G., Krauss U., Gasparotto L., Duarte-Aguilar J.A., K.V., 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the tropics. *Agroforestry systems*, 50: 199-241.
- Watve M.G., Jog M.M., 1997. Epidemic diseases and host clustering: An optimum cluster size ensures maximum survival. *Journal of theoretical biology*, 184(2): 167-171.